

А.Н. ШЕЛКОВОЙ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», г. Харьков;
И.В. КОВАЛЕВА, г. Харьков

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «КРОНШТЕЙН» НА ОБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕНТРЕ VA 500 МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В этой статье рассматривается метод планирования организационно-технологических механизмов производственных систем, в основу которых положено 3D моделирование

In the article considered the method of planning of organizational-technological arrangements of the production systems is offered on the basis of 3D – designs.

Введение. Современная технологическая практика характеризуется высокой интенсивностью процесса проектирования и достоверностью технологических решений. Для этого используются методы проектирования, построенные на математических моделях, в основу которых положено трехмерное моделирование (3D – моделирование). В статье изложена методика создания организационно-технологических структур технологических систем обработки металлов резанием на основе 3D – моделирования ее компонентов.

Постановка задачи. В качестве иллюстрации методической основы организационно-технологического проектирования проведено исследование гибкой производственной системы на базе обрабатывающего центра модели VA 500 и промышленного робота портального типа модели MA160П при обработке группы деталей типа «Кронштейн» (рис. 1).

Общая задача проектирования разбита на следующие этапы:

конструкторско-технологический анализ системы изготовления детали «Кронштейн» на обрабатывающем центре в условиях мелкосерийного производства; разработка группового технологического процесса (ГТП) получения деталей типа «Кронштейн»; разработка технологического оснащения системы обработки; разработка управляющих программ изготовления деталей типа «Кронштейн» на вертикальном обрабатывающем центре VA500; имитационное организационно-технологическое моделирование системы изготовления деталей типа «Кронштейн»; расчет экономических показателей системы обработки.

Разработка группового технологического процесса. Групповой технологический процесса изготовления деталей типа «Кронштейн» формируется в АСТПП «ТехноПро 5.0+» в следующей последовательности (рис. 2): 1. Разрабатывается обобщенный маршрут обработки (эквивалент ГТП) деталей «Кронштейн 1»; «Кронштейн 2» и «Кронштейн 3»; 2. Формируются групповые технологические операции обработки изделия;

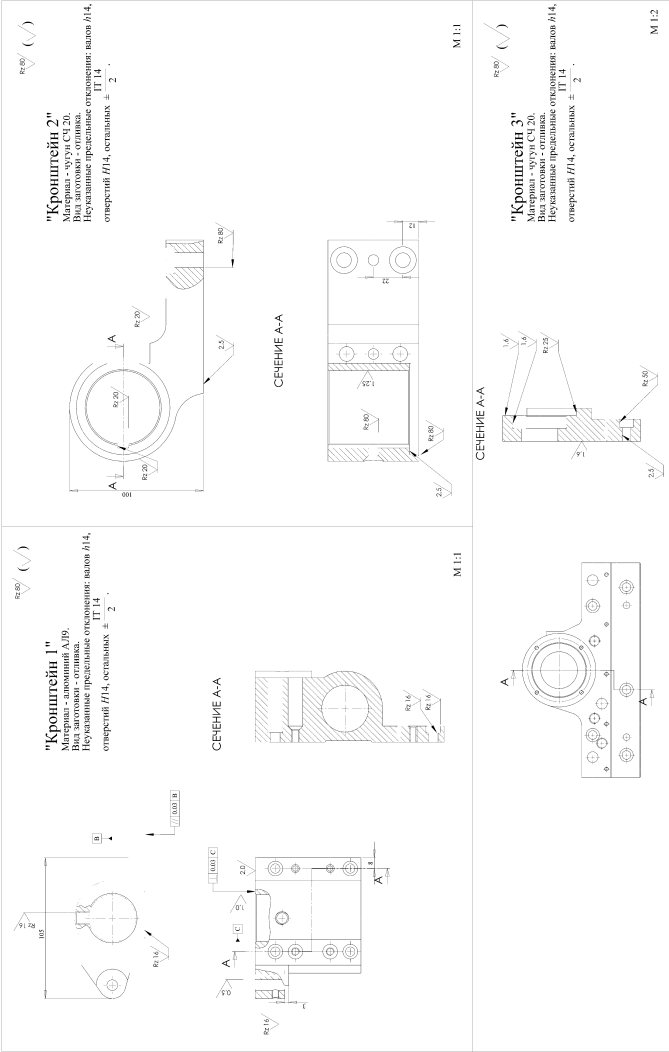


Рис.1

Рис. 2. Последовательность разработки технологической документации для обработки изделия «Кронштейн»

3. Подбираются основное и вспомогательное оборудование, технологическая оснастка и режущий инструмент (система CoroGuid 2007.1);
4. Определяются расчетные значения снимаемых припусков (система Pripuski), режимы обработки (система CoroGuid 2007.1), нормы времени;
5. Формируются эскизы обработки (система SolidWorks 2007);
6. На основе ГТП в автоматизированном режиме формируются технологические процессы изготовления деталей «Кронштейн 1», «Кронштейн 2» и «Кронштейн 3»;
7. Проводится проверка правильности построения технологических процессов;
8. Готовится организационно-технологическая документация.

Разработка технологического оснащения системы обработки. Для обработки детали «Кронштейн» на обрабатывающем центре VA-500 применено приспособление, собранное из деталей комплекта УСП-12 (рис. 3).

Базирование осуществлено на плоскость и два пальца (цилиндрический и срезанный), при этом заготовка лишается 6 степеней свободы. Крепление заготовки к приспособлению осуществляется болтами и гайками. Формула базирования представлена на рисунке 3.

Расчет погрешности базирования выполнен с использованием программ «Fingers» и «Pogreshnost».

В состав приспособления входят: «Плита» ГОСТ 15197-70 (1 шт.); «Болт пазовый» ГОСТ 15379-70 (5 шт.); «Опора» ГОСТ 15411-70 (3 шт.); «Шпонка» ГОСТ 15345-70 (2 шт.); «Гайка» ГОСТ 15395-70 (2 шт.); «Гайка» ГОСТ 5915-70 (2 шт.); «Шайба» ГОСТ 18123-72 (2 шт.); «Палец базовый цилиндрический» (1 шт.); «Палец базовый срезанный» (1 шт.).

Для деталей «Кронштейн 1», «Кронштейн 2», «Кронштейн 3» неизменными в размерах являются плита, опоры и шпонки, а остальные элементы приспособления подбираются в соответствии с размерами деталей (табл. 1).

Выбор инструментального оснащения и расчет режимов резания осуществляется с использованием пакета CoroGuid 2007.1 по схеме (рис. 4):

1. Определение типа инструментального оснащения (выбор модульного или цельного инструментального оснащения).

2. Выбор тип адаптера.
3. Определение типоразмера модульного соединения.
4. Выбор базовой оснастки.
5. Выбрать переходников и удлинителей.

Расчет режимов резания выполняется в следующей последовательности (рис. 4):

1. Выбор области применения инструмента
2. Выбор типа операции.
3. Выбор размеров инструмента.
4. Выбор места и размеров обработки на заготовке.

5. Определение геометрии режущей части инструмента и типа режущих пластин.

6. Определение параметров обработки (глубины резания, толщины стружки

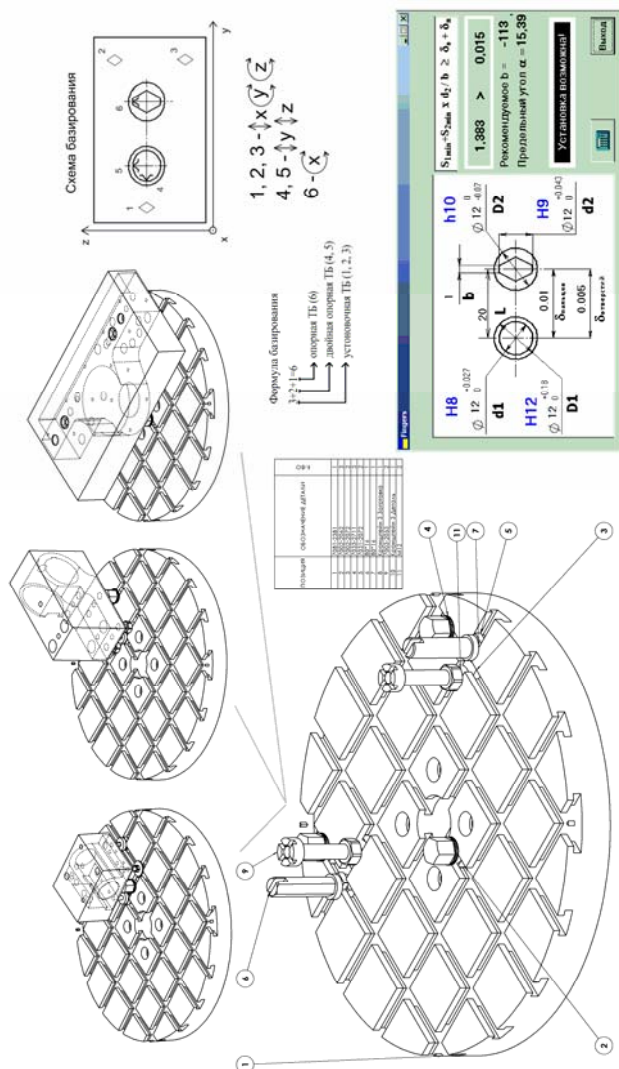


Рис 3. Структура и параметры группового зажимного приспособления для обработки деталей типа „Кронштейн” и др.).

Таблица 1.

Наличие элементов приспособления для разных деталей.

Наименование элемента	ГОСТ	Длина элемента, мм	Диам стр элемента, мм	Кронштейн №		
				1	2	3
Болт пазовый	15379-70	20	12	.	*	*
Болт пазовый	15379-70	35	6	*		
Болт пазовый	15379-70	70	6	*		
Болт пазовый	15379-70	10	18		*	
Болт пазовый	15379-70	70	12			*
Гайка	15395-70	10	10	*		
Гайка	15395-70	10	18		*	
Гайка	15395-70	10	22			*
Гайка	5915-70	5	M6	*		
Гайка	5915-70	8	M10		*	
Гайка	5915-70	10	M12			*
Шайба	18123-72	2	24	*		
Примечание: * - элемент принадлежит к приспособлению для соответствующей детали.						

Разработка управляющих программ. Управляющие программы (УП) для обработки группы деталей типа «Кронштейн» формируются в среде системы SolidCAM 2007, которая, в свою очередь, интегрирована в систему SolidWorks 2007. Структура системы и набор данных для разработки УП на операции «Сверление основного отверстия» на детали «Кронштейн 1» представлены на рис. 5, а ее фрагмент приведен ниже:

O5000 (D_DRILL_T1.TAP)
(MCV-OP) (04-JUN-2009)
(SUBROUTINES: O2 .. O0)
G90 G17
G80 G49 G40
G54
G91 G28 Z0
G90
M01
N1 M6 T1
(TOOL -1- ROUGH DIA 35.0 MM)
G90 G00 G40 G54
G43 H1 D31 G0 X41. Y25. Z100. S1364 M3
M8
...

(D-DRILL-T1 - DRILL)

...

X41. Y25. Z100.

G98 G81 Z0. R102. F0.25

G80

M30

%

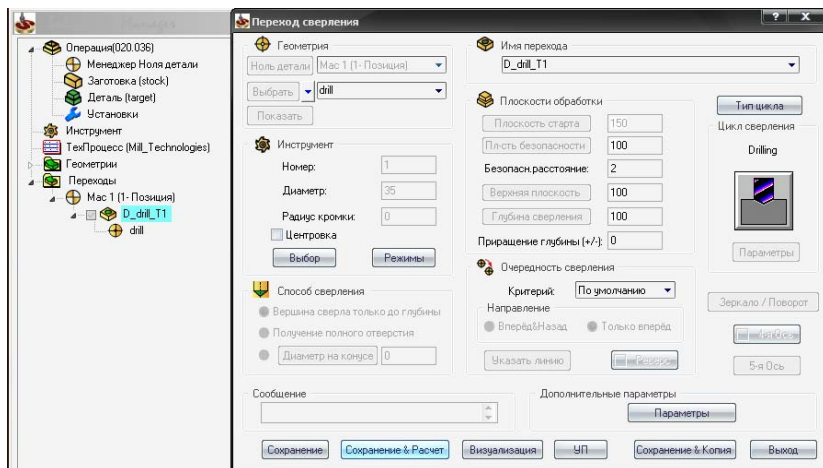


Рис. 5. Интерфейс системы SolidCAM при разработке управляющих программ обработки деталей типа «Кронштейн»

Имитационное моделирование организационно-технической и технологической структур ОЦ VA500 (рис. 6) является заключительным этапом оптимизации структуры и параметров системы групповой обработки детали «Кронштейн».

В состав организационно-технологической системы изготовления детали «Кронштейн» входят: вертикальный обрабатывающий центр VA 500, стол-накопитель, а также порталный робот MA160П (рис. 6).

Этот процесс реализуется в следующей последовательности:

1. Разрабатывается эскиз планировки участка обработки.
2. В CAD SolidWorks 2007 разрабатывается 3D – модель конструктивной компоновки ОЦ VA500 с учетом его технологического оснащения, необходимого для групповой обработки деталей типа «Кронштейн».

3. Модель системы обработки экспортируется из системы SolidWorks в систему CreateModul.

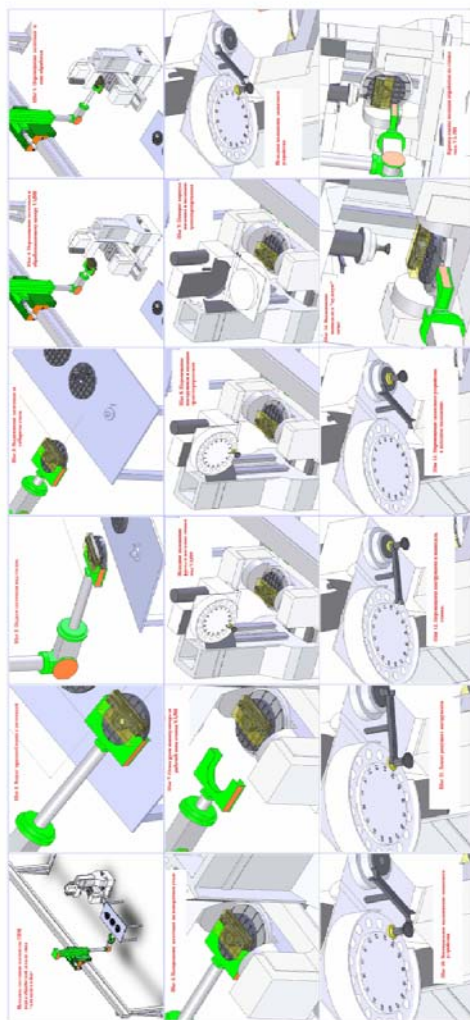
4. Разрабатывается программа имитационного моделирования работы модуля, фрагмент которой показан ниже:

Сдвиг,Каретка робота,0,7922,0,1,0
 Поворот,Цилиндр-2,0,30,0,1,0
 Одновременно,5
 Поворот,Схват-5,0,-30,0,1,0
 Поворот,Схват-6,0,30,0,1,0
 Поворот,Схват-7,0,-30,0,1,0
 Поворот,Схват-8,0,30,0,1,0
 Сдвиг,Рука-2,0,0,-82,1,0
 Одновременно,4
 Поворот,Схват-5,0,30,0,1,0
 Поворот,Схват-6,0,-30,0,1,0
 Поворот,Схват-7,0,30,0,1,0
 Поворот,Схват-8,0,-30,0,1,0
 Пауза,1
 Привязка,Деталь-2,Рука-2
 Одновременно,2
 Сдвиг,Рука-2,0,0,80,1,0
 Поворот,Цилиндр-2,0,-29,0,1,0
 Сдвиг,Каретка робота,0,-7089,0,1,0
 Поворот,Цилиндр-2,0,27,0,2,0
 Сдвиг,Рука-2,0,0,-80,2,0
 Пауза,1
 Привязка,Деталь-2,Шпиндель-2
 Сдвиг,Кулачек-6,0,0,28,1,0
 Сдвиг,Кулачек-4,-20,0,-20,1,0
 Сдвиг,Кулачек-5,20,0,-20,1,0

5. Выполняется имитационное моделирование обработки изделия, результатом которого являются данные для технико-экономического анализа эффективности принятой организационно-технологической и технической компоновок производственной системы.

Расчет экономических показателей системы обработки. Технико-экономический анализ эффективности групповой обработки деталей типа «Кронштейн» выполняется по следующим направлениям:

1. Экономическое обоснование варианта механической обработки (табл. 3).
2. Расчет элементов технологической себестоимости (табл. 4).
3. Расчет капитальных затрат (табл. 5).
4. Расчет себестоимости, стоимости детали и расходов на производство продукции (табл. 6).
5. Расчет сметы расходов на производство (табл. 7).
6. Расчет основных технико-экономических показателей системы обработки (табл. 8).



120

Таблица 2.

Режущие инструменты для обработки деталей типа «Кронштейн» на ОЦ VA500

№ перех ода	Тип инструмента	Код инструмента	Код пластины	Материал режущей части
002	фреза профильная	R300-010A16L-05L	R300-0517E-PM	СТ 530
003	фреза профильная	R300-016B20L-08L	R300-0828M-KH	GC 3040
004	фреза профильная	R300-016B20L-08L	R300-0828M-KH	GC 3040
005	сверло	R840-0500-30-AOA	-	GC 1220
006	сверло	R840-0500-30-AOA	-	GC 1220
007	сверло	R840-1100-30-AOA	-	GC 1220
008	сверло	R840-1100-30-AOA	-	GC 1220
009	сверло	R840-1300-30-AOA	-	GC 1220
010	сверло	R840-0500-30-AOA	-	GC 1220
011	сверло	R840-0500-30-AOA	-	GC 1220
012	сверло	R840-1000-30-AOA	-	GC 1220
013	сверло	R840-1400-30-AOA	-	GC 1220
014	сверло	R840-1600-30-AOA	-	GC 1220
015	сверло	R840-1100-30-AOA	-	GC 1220
016	фреза концевая	R216.24- 20050IAK38P	-	GC 1630
017	фреза концевая	R215.86- 03000/AC05G	-	GC 1620
018	фреза концевая	R215.85- 02000/AC30G	-	GC 1620
019	фреза концевая	R215.85- 02000/AC30G	-	GC 1620
020	фреза концевая	R215.85- 02000/AC30G	-	GC 1620
021	сверло	R840-2000-30-AOA	-	GC 1220
022	фреза резьборезная	R217.14C045100A C13N	-	GC 1630
023	фреза резьборезная	R217.14C045100A C13N	-	GC 1630
024	фреза резьборезная	R217.14C075150A K21N	-	GC 1630
025	фреза резьборезная	R217.14C045100A C13N	-	GC 1630
026	фреза резьборезная	R217.14C045100A C13N	-	GC 1630
027	фреза резьборезная	R217.15C120200A K34N	-	GC 1630

028	расточный инструмент	R820A-BR11SCFC06A	CCMT060208-KR	GC 3215
029	расточный инструмент	R820D-BR18SCFC09A	CCMT09T308-KR	GC 3215
030	расточный инструмент	R825B-AF17STUP0902A	TPMT090204-KF	GC 3215
031	фреза концевая	R215.64-32A32-4512	SPMT 12 04 08-WH	H12A
032	фреза концевая	R215.64-32A32-4512	SPMT 12 04 08-WH	H12A
034	фреза торцевая	R245-050Q22-12M	R245-12T3M-KM	H13A
035	фреза торцевая	R245-050Q22-12M	R245-12T3M-KL	GC 3020
036	расточный инструмент	391.68A-1-03213C06A	CCMT060204-MM	H10
037	расточный инструмент	R820C-BR16SCFC09A	CCMT09T308-KR	GC 3215
038	расточный инструмент	R820B-BR12SCFC06A	CCMT060208-KR	GC 3215
039	расточный инструмент	R825A-AF11STUP06T1A	TCGX06T104-AL	H10
040	расточный инструмент	R825B-AF17STUP0902A	TPMT090204-KF	GC 3215
041	фреза концевая	R215.64-32A32-4512	SPMT 12 04 08-WH	H12A
042	фреза концевая	R215.64-32A32-4512	SPMT 12 04 08-WH	H12A
043	сверло	R840-0794-30-A1A	-	GC 1220
045	фреза концевая	R215.36-08050-BC19L	-	GC 1620
046	фреза профильная	R300-010A16L-05L	R300-0517E-PM	CT 530
047	фреза профильная	R300-016B20L-08L	R300-0828M-KH	GC 3040
049	фреза концевая	R215.64-32A32-4512	SPMT 12 04 08-WH	H12A
050	фреза концевая	R215.64-32A32-4512	SPMT 12 04 08-WH	H12A
051	фреза торцевая	R230-012B16L-05L	R230-12T308E-ML	H13A
053	сверло	R840-0420-30-AOA	-	GC 1220
054	сверло	R840-0800-30-AOA	-	GC 1220

055	фреза концевая	R215.85-02000/AC30G	-	GC 1620
056	сверло	R840-2000-30-AOA	-	GC 1220
057	Фреза резьбoreзная	R217.13-032070AC08N	-	GC 1630

Таблица 3.

Исходные данные для экономического обоснования варианта
механической обработки

Наименование	Единицы измерен ия	Обозначен ие	Проектный вариант
Годовой выпуск деталей	Шт.	Ng	2000
Оборудование: 1. модель 2. количество 3. цена при одах.			6Н12ПБ 1 300000 6Н12ПБ 1 300000 VA 500 1 800000
Норма штучного времени	Хв.	$t_{шт}$	3,44 1,37 0,98
Норма машинного времени	Хв.	t_o	1,98 0,53 0,16
Мощность двигателя	кВт	Ny	10 10 22,5
Разряд рабочий.			4 4 5
Количество рабочих	Чел.		3
Производственная площадь	м ²		32,7
Тарифная ставка рабочего	Грн/год	Cч	4,2 4,2 5,2
Цена производственной	1м ² Грн.	Ц _{пл}	337

Наименование	Единицы измерения	Обозначение	Проектный вариант
площади			
Коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату		К _д	1,2
Процент, учитывающий отчисления на социальное страхование		К _с	0,39
Тариф на энергию	Грн/кВт т	С _{ен}	0,42
Норма амортизации	%	Н _а	15
Действительный фонд времени	время	Ф _д	2040
Режущий инструмент: 1. наименование			Фрезы торцевые, концевые, фасонные, резьбонарезные, сверла, развертки
2. количество	Шт.	n _и	7, 16, 7, 7, 21, 8
3. цена при одах.	Грн.	С _и	5, 6, 5, 18, 6, 15
Период стойкости инструмента	Хв.	Т	45, 30, 45, 20, 20, 100

Таблица 4.

Расчет технологической себестоимости изделия

Название расходов	Проектный вариант
1. Основная и дополнительная зарплата рабочего (виروب.)	$З_{п} = C_{чл} \cdot K_{Ti} \cdot t_{шт} \cdot K_{об} \cdot K_{д} \cdot K_{с}, \text{ грн.}$ $З_{1пр1} = 4,2 \cdot 2,57 \cdot 3,44 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 0,39 = 8,689$
2. Расходы на силовую энергию	$З_{ен} = [N_y \cdot K_n' \cdot (T_{шт} - T_m) + N_y \cdot K_m \cdot T_m], \text{ грн.}$ $З_{ен} = [14,1 \cdot 0,2 \cdot (3,44 - 1,98) + 14,1 \cdot 0,65 \cdot 1,98] \cdot \frac{0,42}{60 \cdot 100} = 0,001558$
3. Расходы на амортизацию оборудования	$З_A = \frac{C_{об} \cdot K_T \cdot H_a \cdot n_o}{N}, \text{ грн.}$ $З_A = \frac{467000 \cdot 1,13 \cdot 0,15 \cdot 1}{2000} = 39,578$

Название расходов	Проектный вариант
4. Расходы на текущий ремонт оборудования	$Z_p = Z_A \cdot 0,33$, грн. (7.9)
	$Z_p = 39.578 \cdot 0,33 = 13.061$
6. Затраты на резательный инструмент	$Z_{и} = \frac{(C_{и} + C_{пер} \cdot n_{пер}) \cdot t_m}{T \cdot (n_{пер} + 1) \cdot 60} \cdot K_{уб}$, грн.
	$Z_{и} = \frac{(8.15 + 1 \cdot 8) \cdot 1.98}{43 \cdot (1 + 1) \cdot 60} \cdot 1,05 = 0.00651$
7. Расходы на технологическую площадь	$C_{пл} = \frac{N_{пл} \cdot S \cdot n}{N_r}$, грн.
	$C_{пл} = \frac{337 \cdot 32.7}{2000} = 5.51$
8. Затраты на материалы	$Z_M = M_z \cdot K_T \cdot \Pi_M - (M_p - M_{и}) \cdot \Pi_o$, грн.
	$Z_M = 9.98311,05 \cdot 1.5321 - (9.9831 - 4.088) \cdot 1.5321 \cdot 0,23 = 13.9825$
Сумма, грн	$C_{пр} = 206,671$

Таблица 5.

Расчет капитальных затрат

Название вложений	Проектный вариант
1. Капитальные вложения в оборудование, грн	$K_{об} = K_{тр} \cdot \Pi_{об} \cdot \Pi_n$
	$K_{об} = 1,125 \cdot 467000 \cdot 1 = 525375$
2. Капитальные расходы на производственную площадь, грн	$K_{пл} = \Pi_{пл} \cdot S \cdot \Pi_n$
	$K_{пл} = 337 \cdot 32,7 \cdot 1 = 11020$
Сумма, грн	$K_1 = 536395$

Таблица 6.

Калькуляция на деталь «Кронштейн»

№	Наименование статей	Сумма, грн	Примечания
1	Основные материалы	139,83	$M_z \cdot \Pi_{мат}$
2	Транспортно-заготовительные расходы	2,8	2% от п1
3	Обратные отходы	20,77	$M_{отх} \cdot \Pi_{отх}$
Материалы основные		121,86	$\Sigma n1 \div n3$
4	Основная зарплата основных рабочих	0,106	$\frac{\Sigma t_{sum} \cdot 1,1}{60}$
5	Дополнительная зарплата основных	0,013	12% от п4

№	Наименование статей	Сумма, грн	Примечания
	рабочих		
6	Отчисление в соцстрах	0,046	39% от (п4+п5)
7	Расходы на содержания и эксплуатации оборудования	0,071	60% от (п4+п5)
8	Общие производственные расходы	0,05	42% от (п4+п5)
	Производственная себестоимость	122,146	$\Sigma n1 \div n8$
9	Административные расходы	0,044	37% от (п4+п5)
10	Расходы на сбыт	1,22	1% от (п9+С _{пр})
	Полная себестоимость	123,41	С _{пр} +п9+п10
11	Плановая прибыль	12,34	10% от С _{пол}
	Оптовая цена	135,75	С _{пол} +п11
12	ПДС	27,15	20% от Ц _{онт}
	Отпускная цена товарного выпуска	162,9	Ц _{онт} +НДС

Таблица 7.

Расчет сметы расходов

№	Наименование статей	Сумма, тыс. грн	Примечания
1	Основные материалы	279660	$N_r M_3 C_m$
2	Транспортно-заготовительные расходы	5593,2	2% от п1
3	Обратные отходы	41540	$N_r (M_3 - M_d) C_o$
	Материалы основные	243713,2	$\Sigma p1 \div p3$
4	Основная зарплата основных рабочих	212	$\frac{\sum t_{um} \cdot l \cdot 1 \cdot N_r}{60}$
5	Дополнительная зарплата основных рабочих	25,44	12% от п4
6	Отчисление в соцстрах	92,60	39% от (п4+п5)
7	Расходы на содержания и эксплуатации оборудования	142,46	60% от (п4+п5)
8	Общие производственные расходы	99,73	42% от (п4+п5)
	Производственная себестоимость	244285,43	$\Sigma p1 \div p8$
9	Административные расходы	87,85	37% от (п4+п5)
10	Расходы на сбыт	2443,73	1% от (п9+С _{пр})
	Полная себестоимость	246816,91	С _{пр} +п9+п10
11	Плановая прибыль	24681,69	10% от С _{пол}
	Оптовая цена	271498,60	С _{пол} +п11
12	ПДС	54299,72	20% от Ц _{онт}
	Отпускная цена	325798,32	Ц _{онт} +НДС

Таблица 8.

Основные технико-экономических показатели обрабатывающего модуля

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерен ия	Величин а
АБСОЛЮТНЫЕ			
1	Годовой выпуск деталей: - количество изделия (комплектов) - по оптовой стоимости - по трудоемкости	шт. грн. Нормоч ас.	2000 271498,6 0
2	Общая площадь участка, также производственная	м ²	32,7
3	Количество рабочих мест: также металлорежущее оборудование	од.	3 3
4	Сумма добавления	грн.	24681,69
ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ			
5	Стоимость выпускаемой продукции на: - одного рабочего - 1 м ² производственной площади	грн.	108599,4 4 9963,25
6	Производственная себестоимость единицы продукции	грн.	122,146
7	Уровень рентабельности изделия	%	10
8	Удельная площадь на станок	м ²	10,9

Выводы. Установлено, что средняя себестоимость деталей типа «Кронштейн», изготовленная на обрабатывающем центре VA500 высококачественными режущим инструментами в мелкосерийном производстве составит 123,41 грн., а плановая прибыль на каждую деталь составляет 12,34 грн. При этом средний уровень рентабельности изделий 10%.

Список литературы: 1. *Шелковий О.М., Феденюк Д.В.* Постановка задачі підвищення ефективності систем механоскладального виробництва на основі тривимірного моделювання //Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут": Збірка наукових праць. Тематичний випуск Технології в машинобудуванні. - Харків: НТУ "ХПІ". - 2010. - №24. - С.95 -111; 2. *Фадеев В.А., Пермяков А.А., Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н.* Опыт организационно-технологической подготовки предприятий аэрокосмической промышленности //Технологические системы, научно-технический журнал. – 2010, № 1(50). – С.82 – 87.

Поступила в редколлегию 20.09.2010